بررسی آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز آرگون بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا

عبدالرسول رنگ رزی[۱]، حمید نیازمند[۲]، حمید ممهدی هروی[۳]
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک
rasoul_rangrazi@yahoo.com

چکیده

یکی از روش های کاهش NO_x رقیق سازی سوخت می باشد. از دیدگاه ترمودینامیکی در این روش در اثر مخلوط کردن سوخت با ماده ای دیگر ظرفیت گرمایی مخلوط افزایش یافته و در نتیجه دمای محفظه احتراق و میزان NO_x که وابسته به دما می باشد کاهش می یابد. در این مقاله به مطالعه آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز آرگون در کاهش میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا در یک محفظه احتراق پرداخته شده است. رقیق سازی در نسبت های مختلف هم ارزی انجام شده و میزان آلاینده NO_x و حدود خاموشی شعله اندازه گیری شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که رقیق سازی سوخت با آرگون باعث کاهش میزان آلاینده NO_x شده و مقدار آن را در حدود۳۷% کاهش می دهد ضمن آنکه رقیق سازی، ر نگ شعله غیر پیش آمیخته را از زرد به آبی تبدیل میکند.

واژه‌های کلیدی: NO_x، رقیق سازی، آرگون،غیر پیش آمیخته، پروپان،آزمایشگاهی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک
۲- دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک
۳-استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه مکانیک، مشهد،ایران

۱- مقدمه

امروزه روش های کاهش آلاینده NO_x به عنوان یکی از مهمترین آلاینده های ناشی از احتراق سوخت های فسیلی مورد توجه محققین قرار گرفته است. این آلاینده اثرات مضر بر سیستم تنفسی انسان و محیط زیست داشته و باعث ایجاد باران های اسیدی و مه دود فتوشیمیایی می شود. در بین اکسیدهای نیتروژن، NO و NO_2 در آلودگی هوا نقش مهمتری را دارند که تحت عنوان NO_x شده اند. NO گازی بی رنگ و بی بوست در حالی که NO_2 به رنگ قرمز مایل به قهوه ای می باشد و سمیت آن چندین برابر NO است. NO_x ابتدا بصورت NO در جریان احتراق از طریق ترکیب اکسیژن با نیتروژن تشکیل شده و پس از ورود به هوا تبدیل به NO_2 می شود. بطور کلی سه مکانیزم اصلی برای تولید NO در طی فرآیند احتراق شناخته شده است:NO حرارتی ، NO فوری وNO سوختی . NO حرارتی به شدت تابع دما می باشد و از ترکیب نیتروژن با اکسیژن در دماهای بالا تشکیل میشود. NO فوری در اثر برخورد مولکول های نیتروژن و رادیکال های هیدروکربن CH بوجود می آید و بیشتر در شعله های پر سوخت در ناحیه جبهه شعله تشکیل می گردد. NO سوختی در سوخت های نیتروژن دار و از اکسیداسیون نیتروژن موجود در سوخت ایجاد می شود[۱].

روش های مختلفی جهت کاهش NO_x وجود دارد که یکی از آنها رقیق سازی سوخت می باشد. در این روش سوخت را با یک رقیق کننده دارای ظرفیت گرمایی بالا مخلوط میکنند تا از این طریق ظرفیت گرمایی مخلوط افزایش یافته و دمای محفظه احتراق کاهش یابد که این امر باعث کاهش NO_x می شود[۲]. تا کنون مطالعات مختلفی بر روی رقیق سازی انجام گرفته و تاثیر رقیق کننده های مختلفی نظیر CO_2 ،N_2 و H_2O مورد بررسی قرار گرفته است ولی در این بین رقیق سازی با استفاده از گاز آرگون کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۹ منیب و همکارانش [۳] به بررسی اثر رقیق سازی با گاز آرگون در کنترل میزان آلاینده NO_x در موتور اشتعال جرقه ای پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که رقیق سازی با آرگون باعث کاهش چشمگیر آلاینده NO_x شده و راندمان حجمی موتور را افزایش می دهد. در سال۲۰۰۹ کوبایاشی و همکارانش[۴] تحقیقاتی را در زمینه اثر رقیق سازی با استفاده از بخار آب سوپرهیت بر شعله پیش آمیخته متان-هوا انجام داده و آنرا با نتایج حاصل از رقیق سازی با CO_2 که در سال ۲۰۰۷ [۵] انجام داده بودند مقایسه نمودند. نتایج آنها نشان داد که رقیق سازی با بخار آب موثرتر از رقیق سازی با CO_2 در کاهش NO_x است ضمن اینکه رقیق سازی با بخار آب باعث افزایش تولید رادیکال OH شده که کاهش میزان آلایندهCO را به همراه دارد. در سال ۲۰۰۶ گیلس و همکارانش [۶]به بررسی اثر رقیق سازی شعله غیر پیش آمیخته متان – هیدروژن با استفاده از CO_2 ،N_2 و H_2O پرداختند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان داد که بر حسب جرمی، H_2O رقیق کننده موثرتری در کاهش NO_x می باشد. در سال ۲۰۰۹ یی شی و همکارانش[۷] اثر رقیق سازی با گاز CO_2را بر حدود خاموشی و دمای شعله هیدروژن-اکسیژن مطالعه نمودند. نتایج تحقیقات

آنها نشان داد که رقیق سازی دما و حدود خاموشی شعله را کاهش می دهد. آنها همچنین مشاهده نمودند که تشعشع حاصل از مولکول های CO_2 نقش مهمی در کاهش دما و NO_x ایفا می کند.

در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از آرگون بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا پرداخته شده است. سوخت پروپان دارای کاربردهای فراوانی است. این گاز تحت فشار به صورت مایع در آمده و از این لحاظ حمل ونقل آن آسان می باشد. علاوه بر این همانطور که گفته شد شعله بکار رفته در این آزمایش از نوع غیر پیش آمیخته می باشد. در احتراق غیر پیش آمیخته سوخت و هوا پس از ورود به محفظه احتراق با یکدیگر مخلوط می شوند و از این رو به دلیل کنترل بهتر احتراق در آن دارای کاربردهای وسیعی نظیر موتورهای جت، موتورهای دیزل، دیگ های بخار و مشعل ها می باشد[۸].گستردگی استفاده از سوخت پروپان و شعله غیر پیش آمیخته باعث گردیده که روش های کنترل آلاینده های حاصل از این نوع شعله ها مورد توجه محققین قرار گیرد[۹].

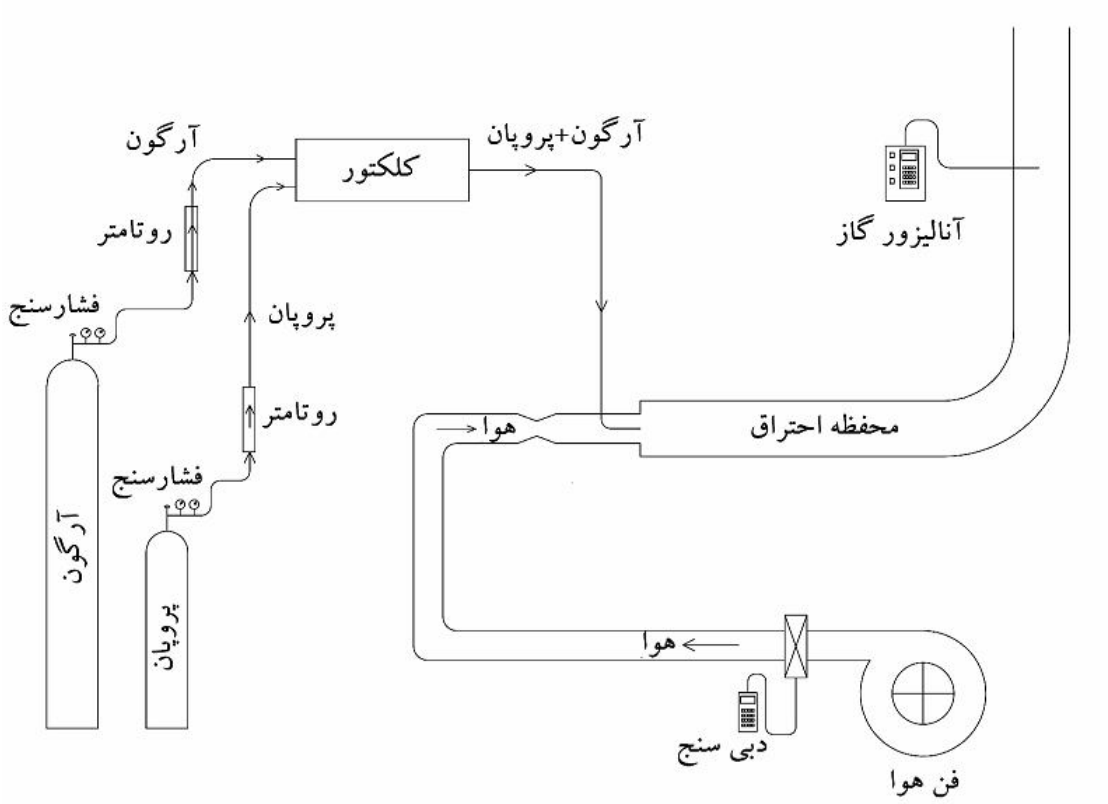
۲- دستگاه آزمایشگاهی

همانطور که در شکل های(۱)و(۲) مشاهده میشود کوره مورد استفاده در این آزمایش از یک محفظه احتراق استوانه ای شکل بطول ۱ متر و قطر داخلی ۰/۱۰۵ متر تشکیل گردیده که جنس آن از فولادAISI316 می باشد و بدنه آن کاملا عایق بندی شده است.

شکل۱-نمایی از محفظه احتراق

به منظور مشاهده شعله، ۱۵ سوراخ به قطر ۰/۰۲ متر و به فاصله ۰/۰۷ متر از یکدیگر بر روی بدنه کوره ایجاد شده است. سوخت پروپان از سوراخی به قطر ۰/۰۴ متر و هوا از اطراف آن از طریق لوله ای به قطر ۰/۰۳۵ متر بصورت غیر پیش آمیخته وارد محفظه احتراق می شود. از یک کلکتور به منظور اختلاط پروپان و آرگون

استفاده شده است. دستگاه آنالیزور گاز TESTO350 XL با دقت ppm ۰/۰۵ جهت اندازه گیری NO_x در گازهای خروجی بکار رفته است. همچنین دو روتامتر با دقت lit/min۰۲/ به منظور اندازه گیری دبی سوخت و آرگون استفاده شده است. برای اندازه گیری دبی هوا نیز یک دبی سنج با دقتm/s۰/۰۵ تا m/s۰/۱ بکار گرفته شد.



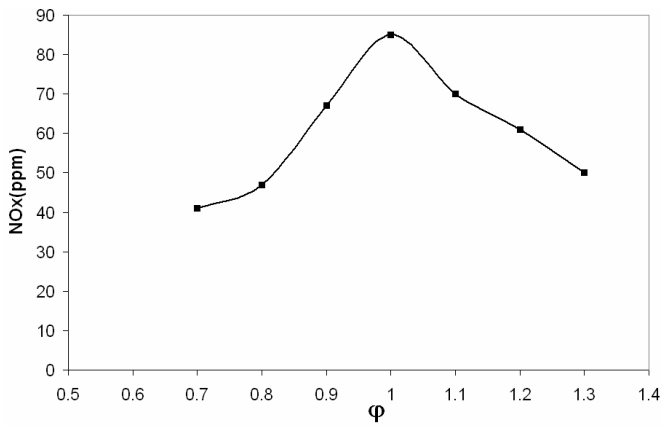
شکل۲- قسمتهای مختلف دستگاه آزمایشگاهی

۳- نتایج

مطالعه آزمایشگاهی بر روی نسبت های مختلف هم ارزی و رقیق سازی انجام گرفته است و میزان NO_x در گازهای خروجی اندازه گیری شده است. نسبت رقیق سازی(β) بصورت نسبت تعداد مول های رقیق کننده(آرگون) به تعداد مول های سوخت(پروپان) تعریف شده است:

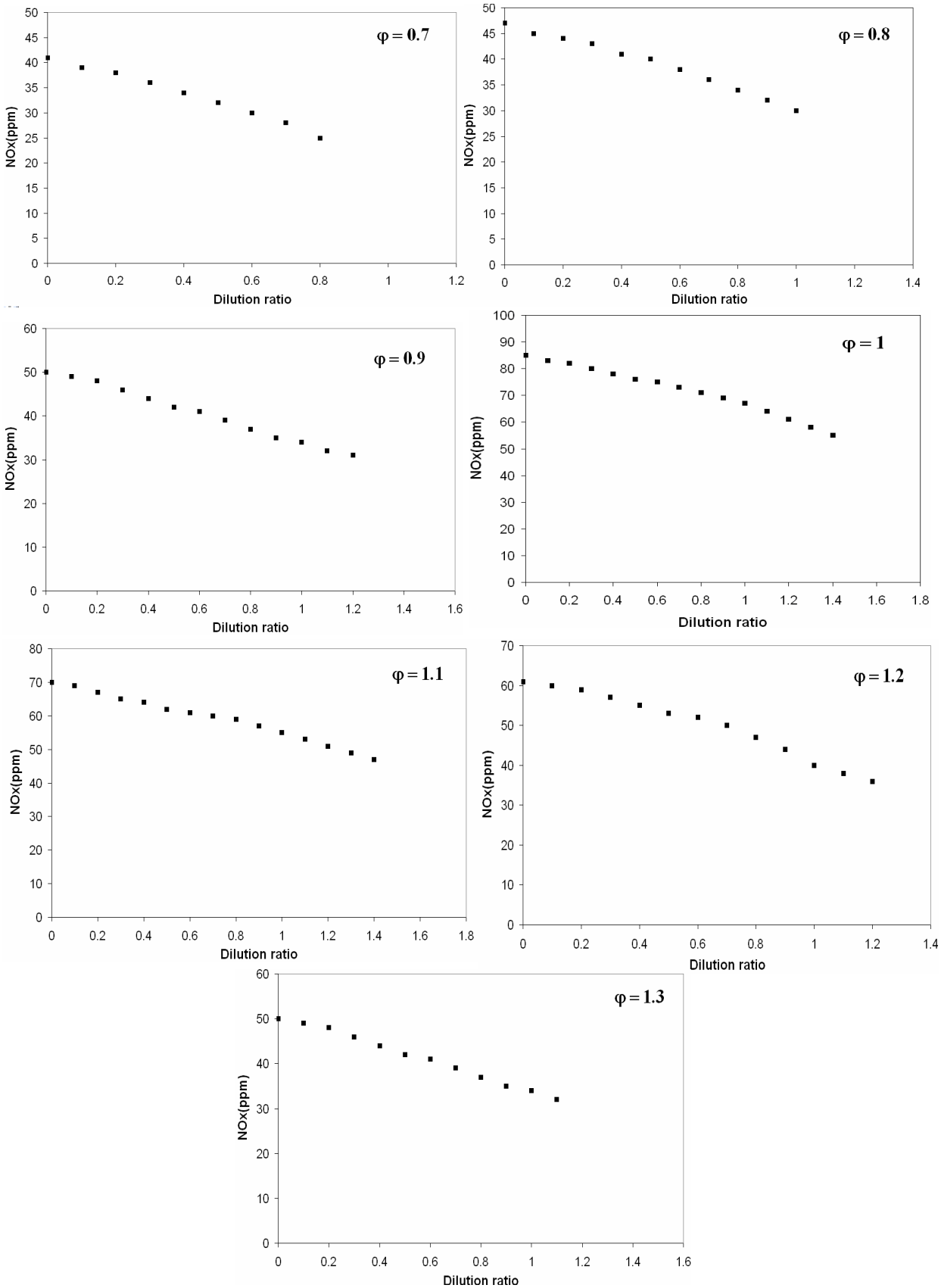
$$\beta = \frac{n_{Diluent}}{n_{Fuel}} \qquad (۱)$$

شکل (۳) میزان تغییرات آلاینده NO_x را به ازای نسبت های مختلف هم ارزی در حالت بدون رقیق سازی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش نسبت هم ارزی از۰/۷ تا ۱ به علت نزدیک شدن به حالت استوکیومتری و افزایش دما، میزان آلاینده NO_x افزایش می یابد و پس از آن در نسبت های هم ارزی بزرگتر از ۱ بدلیل افزایش نسبت سوخت به هوا و دور شدن از حالت استوکیومتری دما و NO_x کاهش می یابد.



شکل۳- تغییرات میزان آلاینده NO_x به ازای نسبت های مختلف هم ارزی φ درحالت بدون رقیق سازی

شکل (٤) تغییرات میزان آلاینده NO_x را به ازای نسبت های مختلف هم ارزی و رقیق سازی نشان میدهد. همانطور که مشاهده می شود در هر یک از نسبت های هم ارزی با افزایش نسبت رقیق سازی میزان آلاینده NO_x میزان ۳۷% کاهش یافته است که دلیل آن افزایش ظرفیت گرمایی مخلوط و کاهش دمای محفظه احتراق می باشد که کاهش آلاینده NO_x را که وابسته به دما می باشد به دنبال دارد.



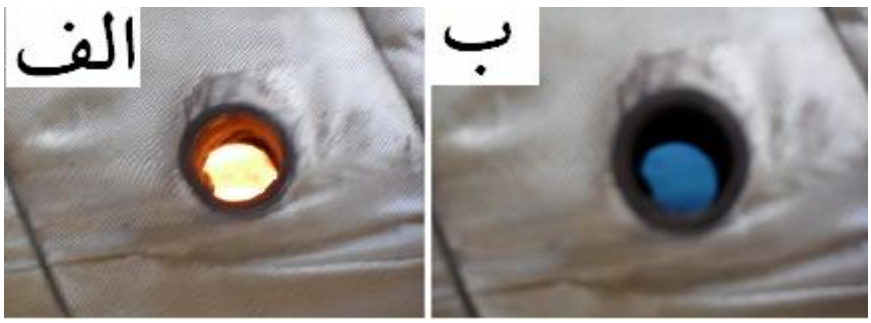
شکل٤- اثر رقیق سازی با آرگون بر میزان آلاینده NO_x در نسبتهای هم ارزی و رقیق سازی مختلف

جدول(۱) حدود خاموشی شعله را در نسبت های هم ارزی مختلف نشان می دهد. رقیق سازی در $\varphi < 1$ باعث کاهش کسر جرمی سوخت و کاهش دما شده که خاموشی شعله را به همراه خواهد داشت ضمن اینکه در $\varphi > 1$ نیز بدلیل کاهش هوای مورد نیاز و کاهش دما، خاموشی شعله رخ داده است.

جدول۱:حدود خاموشی شعله به ازای نسبت های هم ارزی و رقیق سازی مختلف

β	φ
۰/۸	۰/۷
۱	۰/۸
۱/۲	۰/۹
۱/۴	۱
۱/۴	۱/۱
۱/۲	۱/۲
۱/۱	۱/۳

در شکل(۵) اثر رقیق سازی بر تغییر رنگ شعله نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود رقیق سازی باعث گردیده که رنگ زرد شعله غیر پیش آمیخته، آبی گردد که نشان از احتراق کامل تر می باشد. در واقع رقیق سازی باعث افزایش شار مومنتوم و طول شعله شده که در نتیجه آن اکسید کننده و سوخت در تماس بیشتری با یکدیگر بوده و اختلاط بهتری صورت می گیرد. پیش از این هوانگ و همکارانش[۱۰] در سال۲۰۰۹در توجیه اثرات هیدرودینامیکی رقیق سازی بر تغییر رنگ شعله غیر پیش آمیخته به این نتیجه رسیدند که رقیق سازی باعث افزایش شعاع گردابه ها و اختلاط بهتر سوخت و هوا شده و رنگ شعله را آبی می کند.



شکل۵- اثر رقیق سازی با آرگون بر تغییر رنگ شعله الف)قبل از رقیق سازی ب)بعد از رقیق سازی

٤- نتیجه گیری:

در این تحقیق اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از آرگون بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.نتایج بدست آمده نشان داد:

-رقیق سازی با آرگون باعث شده است که آلاینده NO_x به میزان ۳۷% کاهش یابد که دلیل آن افزایش ظرفیت گرمایی مخلوط و کاهش دمای محفظه احتراق می باشد.

-رقیق سازی در نسبت های هم ارزی مختلف باعث خاموشی شعله گردیده که دلیل آن کاهش دما و کسر جرمی سوخت در $\varphi < 1$ و کاهش دما و میزان هوا در $\varphi > 1$ می باشد.

-رقیق سازی با آرگون باعث گردیده که رنگ زرد شعله غیرپیش آمیخته آبی گردد که دلیل آن افزایش شار مومنتوم و طول شعله بوده که باعث افزایش اختلاط سوخت و هوا و تغییر رنگ شعله شده است.

مراجع

[1] G. Liuzzo, N. Verdone, M. Bravi, The Benefits of Flue Gas Recirculation in Waste Incineration, J.waste management. 27 (2007) 106-116.
[2] H. K. Kim, Y. Kim, S. M. Lee, K. Y. Ahn, NO Reduction in 0.03-0.2 MW Oxy-Fuel Combustor using Flue Gas Recirculation Technology, Proceedings of the Combustion Institute. 31 (2007) 3377-3387.
[3] H. Moneib, M. Abdelaal, M. Y. E. Selim, O. A. Abdallah, NO_x Emission Control in SI Engine by Adding Argon Inert Gas to Intake Mixture, J. Energy Conversion and Management. 50 (2009) 2699-2708.
[4] H. Kobayashi, S. Yata, Y. Ichikawa, Y. Ogami, Dilution Effects of Superheated Water Vapor on Turbulent Premixed Flames at High Pressure and High Temperature, Proceedings of the Combustion Institute. 32 (2009) 2607-2614.
[5] H. Kobayashi, H. Hagiwara, H. Kaneko, Y.Ogami, Proc. Combust. Inst. 31 (2007) 1451–1458.
[6] D. E. Giles, S. Som, S. K. Aggarwal, NOx emission characteristics of counterflow syngasdiffusion flames with airstream dilution, J. Fuel. 85 (2006) 1729-1742.
[7] H. Yishih , Computed extinction limits and flame structures of H2/O counterflow diffusion flames with CO_2 dilution, J. Hydrogen Energy. 34 (2009) 4005–4013.
[8] J. Warnatz, U. Mass, R. W. Dibble, Combustion, third ed. , Springer-Verlag, Berlin, 2001.
[9] C. Tang, G. Zheng, Z. Huang, J. Wang, Study on Nitrogen Diluted Propane–air Premixed Flames at Elevated Pressures and Temperatures , J. Energy Conversion and Management. 51 (2010) 288-295.
[10] C. H. Hwang, C. B. Oh, C. E. Lee, Effects of CO2 dilution on the interactions of a CH4-air nonpremixed jet flame with a single vortex, J. Thermal Sciences. 48 (2009) 1423–1431.

Experimental investigation of the effect of argon dilution on NO_x emission in propane-air non-premixed flame

Abdolrasoul Rangrazi[1], Hamid Niazmand[1], Hamid Momahedi Heravi[2]
[1]*Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
[2]*Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran*
rasoul_rangrazi@yahoo.com

Abstract

One of the methods to reduce the NO_x emission is dilution. Dilution increases the heat capacity of the mixture in the combustion chamber, which in turn, decreases the temperature of the combustion chamber and consequently, the NO_x emission decreases. In this paper experimental investigation of argon dilution effects on NO_x emission production in propane-air non-premixed flame in a cylindrical combustion chamber is conducted. Dilution is performed over a wide range of dilution and equivalence ratios. Results show argon dilution decreases NO_x emission and flame color turns to blue which is a result of better combustion in the combustion chamber.

Keywords:NO_x, Argon dilution, propane, non-premixed experimental